菜籽油对蛋鸡生产性能、蛋品质的影响及机理的探索

袁　宁　王建萍　丁雪梅　白世平　张克英*

（四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，成都 611130）

摘　要：菜籽油是我国的重要国产植物油之一，菜籽油中的芥酸含量是影响其食用价值和营养价值的重要因素。产蛋期蛋鸡体内脂肪代谢强度大，油脂的种类和水平影响蛋鸡脂肪代谢，且油脂是蛋黄的主要组成成分之一，鸡蛋品质与蛋鸡饲粮中的油脂品质和添加量息息相关。本文概述了油菜品种、菜籽油分类、菜籽油脂肪酸组成，侧重分析了菜籽油对蛋鸡的生产性能和蛋品质的影响，并通过分析菜籽油对脂肪代谢、抗氧化和免疫等方面的影响探索了其机理，以期为菜籽油在蛋鸡养殖中的应用提供理论依据。

关键词：菜籽油；蛋品质；芥酸；生产性能；脂肪代谢

中图分类号：S831.5

油菜是世界第二大油料作物，在中国、加拿大、欧洲、印度及澳大利亚广泛种植，我国油菜的种植面积和总产量约占世界的 1/4[1]。菜籽油占国产植物油总量的 42.8%，是我国主要的国产油脂之一。

菜籽油的芥酸（erucic acid）含量是影响其食用价值和营养价值的重要因素，已有不少研究报道了高芥酸菜籽油对大鼠及人体机能的影响。结果发现，喂饲芥酸含量为 32.6%的普通菜籽油，小鼠的心脏和肝脏质量显著升高，这可能因为芥酸导致小鼠的肝脏和心脏脂肪沉积[2]；摄入芥酸含量为 10%以上的菜籽油能够抑制大鼠的生长性能和肝组织中长链脂肪酸的氧化速率，增加芥酸在不同组织中的累积，并导致心肌脂肪代谢障碍[3-6]；经常食用芥酸含量高的菜籽油会导致人心肌脂肪的沉积以及增加血管壁厚度[7]。此外，油脂是蛋鸡生长的必需营养物质，也是蛋黄的主要组成成分之一，有研究表明，饲粮脂肪酸组成的变化会引起鸡蛋蛋黄中脂肪酸组成的类似改变。因此，虽然油菜籽在不断地进行改良，培育出更多低芥酸品种，但高芥酸油菜籽品种依旧存在，高芥酸含量的菜籽油是否会增加蛋鸡血清、肝脏脂肪

收稿日期：2018-05-06

基金项目：国家科技支撑计划项目（2014BAD13B04）；四川省科技厅科技支撑计划项目（2014NZ0043，2014NZ0002）

作者简介：袁　宁（1994—），女，湖北枣阳人，硕士研究生，从事家禽营养研究。E-mail: yuanning623@163.com

*通信作者：张克英，教授，博士生导师，E-mail: zkeying@sicau.edu.cn

含量，增加芥酸在鸡蛋中的沉积，进而影响鸡蛋品质和人体健康，需加快对其全面、深入的研究，使其得到科学合理的应用。

1　菜籽油及其脂肪酸组成

菜籽油作为一种含有丰富不饱和脂肪酸的食用植物油，在生活中必不可少[8-9]。单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid，MUFA)，如油酸，能够降血压[10]、抗炎[11]和调控胆固醇的代谢[12]，油酸与高胆固醇血症个体的血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇（LDL-C）水平降低和高密度脂蛋白胆固醇（HDL-C）水平升高有关，并能够降低糖尿病患者血清葡萄糖水平[13]。

菜籽油中除含一定量的油酸、亚油酸和亚麻酸外[14]，还含有一种特殊的脂肪酸——芥酸，芥酸在菜籽油等十字花科植物种子油构成的脂肪酸中含量为20%～55%，而在其他植物油中几乎不存在[14-15]。芥酸是22碳的在13位上有1个双键的长链脂肪酸，又名13-二十二碳烯酸，分子式为 $C_{22}H_{42}O$，结构式为 $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_{11}-COOH$（图1）。芥酸的理化指标见表1。

图1　芥酸结构式

Fig.1　The structure of erucic acid

表1　芥酸的理化指标

Table 1　Physical and chemical indicators of erucic acid[15-16]

项目 Items	数值 Value
分子量 Molecular weight/u	338.57
比重 Specific gravity	0.86
熔点 Melting point/℃	33~34
凝固点 Freezing point/℃	33.4
沸点 Boiling point （0.20 kPa）/℃	202
折光指数 Refractive index	1.451 2
皂化值 Saponification value/（mg/g）	165.7

碘值 Iodine value/%	74.9

菜籽油中芥酸的含量因油菜类型和品种而异，一般白菜型油菜的芥酸含量为38%~45%，甘蓝型油菜的芥酸含量为43%~53%，芥菜型油菜的芥酸含量为50%~55%[17]。菜籽油可以根据芥酸含量分为一般菜籽油、低芥酸菜籽油和传统菜籽油。1996年西加拿大油籽榨油协会（WCOCA）对"双低型"油菜籽卡诺拉（Canola）规定：菜籽油中芥酸含量低于1%，菜籽粕中硫甙含量小于20 μmol/g。我国国标GB/T 11762—2006《油菜籽》中规定双低油菜籽质量指标要求：芥酸含量≤3%、硫甙含量≤35 μmol/g；国标《菜籽油》GB 1536—2004中规定：低芥酸菜籽油芥酸含量≤3%。将芥酸含量在3.0%~60.0%的菜籽油统称为"一般菜籽油"，表2列出了菜籽油部分特征指标要求（《菜籽油》GB/T 1536—2004）。我国传统各品种油菜籽的芥酸含量均30%以上。

表2　菜籽油部分特征指标要求

Table 2　The requirements of some characteristics of rapeseed oil

特征指标 Characteristic indexes	一般菜籽油 General rapeseed oil	低芥酸菜籽油 Low erucic acid rapeseed oil	传统菜籽油 Traditional rapeseed oil
油酸 Palmitic acid （C18：1）/%	8.0~60.0	51.0~71.0	20.0~35.0
亚油酸 Palmitoleic acid （C18：2）/%	11.0~23.0	15.0~30.0	11.0~20.0
花生一烯酸 Eicosenoic acid （C20：1）/%	3.0~15.0	0.1~4.3	3.0~15.0
芥酸 Erucic acid （C22：1）/%	3.0~60.0	<3.0	30.0~55.0
折光指数 Refractive index	1.465~1.469	1.465~1.467	1.465~1.469
比重 Specific gravity	0.910~0.920	0.914~0.920	0.910~0.915
碘价 Iodine value/%	94~120	105~126	94~105
皂化值 Saponification value/（mg/g）	168~181	182~193	168~181

2　菜籽油对蛋鸡生产性能的影响

蛋鸡饲粮中加入菜籽油对生产性能的影响结果并不一致。Rowghani等[18]研究表明，在24周龄海兰白壳蛋鸡饲粮中添加3%和5%的Canola菜籽油对蛋重没有显著影响。而Gul等[19]研究表明，40周龄海赛克斯褐壳蛋鸡饲粮中分别添加2%、4%、6%的Canola菜籽油，结果表明降低了采食量、产蛋率和蛋重。Faitarone等[20]研究表明，在罗曼蛋鸡饲粮中添加不同水平Canola菜籽油、豆油（2.5%、5.0%）对采食量和蛋重没有显著影响。卢建等[21]研究

表明，在 28 周龄苏禽青壳蛋鸡饲粮中添加 1%、2%、3%的菜籽油，显著降低了采食量但提高了蛋重，对产蛋率没有显著影响。Vogtmann 等[22]研究报道，在产蛋高峰期来航鸡饲粮中添加 5%、15%普通菜籽油（芥酸含量 26.2%）、较低芥酸菜籽油（芥酸含量 4.1%）和豆油，15%普通菜籽油组与 15%较低芥酸菜籽油组和 15%豆油组相比，显著降低了采食量和蛋重，15%较低芥酸菜籽油组与 15%普通菜籽油组相比，蛋重、蛋黄重均显著提高。由此可见，饲粮中添加菜籽油降低了蛋鸡的采食量，对产蛋率和蛋重的影响规律不一致，此外，菜籽油对蛋鸡生产性能影响的研究多集中在不同添加水平上，对于不同芥酸含量的菜籽油在蛋鸡上的研究报道极少，值得进一步研究。

3　菜籽油对蛋品质的影响

3.1　菜籽油对常规蛋品质的影响

目前菜籽油对蛋品质的研究主要集中在蛋鸡方面，且研究结果并不一致。有研究发现，40 周龄海赛克斯褐壳蛋鸡饲粮中分别添加 2%、4%、6%的 Canola 菜籽油，降低了蛋黄比色，哈弗单位有增加的趋势[19]。而 Roll 等[23]研究发现，在 5 周龄鹌鹑饲粮中用 Canola 菜籽油替代豆油，对蛋重、蛋黄重、哈弗单位没有显著影响。Horniakova[24]同样研究表明，在蛋鸡饲粮中添加 2%和 6%的菜籽油，对蛋清和蛋黄重量没有显著影响。不同的是，Rowghani 等[18]研究发现，在 24 周龄海兰白壳蛋鸡饲粮中添加 5%的 Canola 菜籽油显著提高了蛋黄的重量，添加 3%和 5%的 Canola 菜籽油对蛋清重量没有显著影响。卢建等[21]报道，在 28 周龄苏禽青壳蛋鸡饲粮中添加 1%、2%、3%的菜籽油，提高了哈弗单位和蛋黄等级。可见，不同品种蛋鸡或者是同一品种蛋鸡在饲粮中添加同品种不同水平的菜籽油时，对常规蛋品质的影响有差异，而且缺乏不同芥酸含量对蛋品质影响和可能残留的数据，需要进一步研究。

3.2　菜籽油对鸡蛋胆固醇、脂肪酸组成的影响

蛋黄中含有鸡蛋里 90%以上的胆固醇，蛋鸡的肝脏和卵巢是合成胆固醇的主要器官。肝脏接收血液中的大部分胆固醇，和甘油三酯等一起以游离的形式与载脂蛋白装配成极低密度脂蛋白（VLDL）颗粒，经卵黄蛋白原受体（OVR）的内吞作用，被卵巢的卵母细胞吸收，形成蛋黄中 95%胆固醇和 60%干物质。卵黄蛋白原（VTG）由肝脏合成，是蛋黄胆固醇的另一来源，经过相同的途径到达卵母细胞，形成蛋黄中 4%胆固醇和 24%干物质[25-26]。

研究表明，通过调整蛋鸡饲粮，改变饲粮中饱和脂肪酸(saturated fatty acid，SFA)与不饱

和脂肪酸的比例，可能会改变蛋黄中脂肪酸组成，增加蛋黄中多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid，PUFA)含量[27-29]。蛋黄脂质部分在每 100 g 新鲜蛋黄中是由 8.7 g 饱和脂肪酸、13.2 g 单不饱和脂肪酸、3.4 g 多不饱和脂肪酸和 1.12 mg 胆固醇组成[30]。蛋黄胆固醇的含量受多种因素的影响，比如鸡的种类、日龄、饲养条件和营养水平，饲粮中添加多不饱和脂肪酸丰富的油脂，可以降低鸡蛋胆固醇含量[31]。卢建等[21]报道，蛋鸡饲粮中添加 2%菜籽油，蛋黄胆固醇含量显著高于对照组。Rowghani 等[18]报道，在 24 周龄海兰白壳蛋鸡饲粮中添加 3%和 5%的 Canola 菜籽油，鸡蛋中胆固醇含量显著增加；分别将鸡蛋中亚麻酸占总脂肪酸的比例从 1.27%提高到了 3.43%和 6.02%，二十二碳六烯酸（DHA）占总脂肪酸的比例从 0.15%提高到了 1.31%和 1.47%，蛋黄中ω-3 脂肪酸的比例从 1.43%提高到了 4.72%和 6.80%。Ceylan 等[32]研究发现，在蛋鸡饲粮中添加 1.5%和 3.0%的 4 种不同来源油脂（葵花油、鱼油、亚麻油、菜籽油，菜籽油芥酸含量为 2.17%），饲粮脂肪来源和水平显著改变了蛋黄的脂肪酸组成，油脂水平升高，蛋黄中油酸、亚麻酸、DHA 沉积更多，花生四烯酸沉积减少，单不饱和脂肪酸沉积随着油脂水平的增加而降低，而多不饱和脂肪酸含量显著增加；但胆固醇含量没有显著变化。Gul 等[19]报道，40 周龄海赛克斯褐壳蛋鸡饲粮中分别添加 2%、4%、6%的 Canola 菜籽油，显著增加了蛋黄胆固醇含量；油酸、总单不饱和脂肪酸含量显著升高，亚油酸、α亚油酸、总多不饱和脂肪酸含量显著降低。Roll 等[23]研究表明，在 5 周龄鹌鹑饲粮中用 Canola 菜籽油替代豆油会改变蛋黄的脂肪酸含量，显著增加油酸的含量，降低亚油酸的含量，单不饱和脂肪酸含量增加，多不饱和脂肪酸含量降低，对蛋黄中胆固醇含量没有显著影响。

4 菜籽油对蛋鸡影响的机理

4.1 菜籽油对脂肪代谢的影响

饲粮中添加油脂会影响家禽脂类代谢和脂肪沉积，但菜籽油对蛋鸡脂肪代谢影响的研究较少，在模式动物鼠上的研究表明，高芥酸含量会导致大鼠肝脏、心脏脂质沉积，增加肝脏、心脏相对重量，低芥酸含量可以缓解高脂饲粮带来的危害[33-34]。Carroll[35]研究表明，饲粮中含 15%的芥酸可以显著增加 SD 大鼠肾脏的胆固醇积累，主要以胆固醇芥酸酯的形式存在，表明芥酸可以影响胆固醇的代谢。张立实等[5]研究表明，摄入高芥酸含量的菜籽油（47.73%）可导致 SD 大鼠肝脏重量增加，肝脏重量增加程度与芥酸摄入量有高度正相关关系，表明芥

酸可能是造成大鼠肝脏重量增加的主要因素。血清甘油三酯和总胆固醇含量常用来表征机体脂肪代谢的水平。Gul 等[19]研究表明，蛋鸡饲粮中分别添加 0、2%、4%、6%的 Canola 菜籽油，血清脂质组成成分中碳氢化合物的含量显著增加，三酰甘油的含量显著降低，6%菜籽油组胆固醇含量显著降低。胆固醇与载脂蛋白装配成的 VLDL 颗粒又称为卵黄靶向 VLDL（VLDLy），在肝脏合成方面，主要的载脂蛋白是载脂蛋白 B100 和载脂蛋白 VLDL-Ⅱ，且载脂蛋白 VLDL-Ⅱ覆盖在载脂蛋白 B 表面，有研究表明，载脂蛋白 VLDL-Ⅱ可能抑制脂蛋白酯酶（LPL）的活性[36]，载脂蛋白 B 在肝脏中的合成量增加可以促使肝脏内脂肪的转运，降低脂肪的沉积[37]。肝脏合成胆固醇后，胆固醇将以脂蛋白形式被快速输送到血液，血液中大部分胆固醇以 VLDL 形式转入到蛋黄中。因此，我们推测不同芥酸含量菜籽油可能会影响蛋鸡体内胆固醇和甘油三酯的代谢，进而影响蛋品质，而且目前缺乏不同芥酸含量对蛋鸡脂肪沉积的影响和可能机制的探索，需要进一步研究。

4.2 菜籽油对机体抗氧化能力的影响

丙二醛（MDA）是不饱和脂肪酸发生过氧化反应而形成的脂质过氧化产物，它是脂质过氧化物的稳定存在形式，常被用来反映机体脂质的过氧化水平，间接地反映细胞的受损程度。超氧化物歧化酶（SOD）可以歧化超氧离子生成过氧化氢（H_2O_2），SOD 是人体防御内、外环境中超氧离子损伤的重要酶。MDA 含量和 SOD 活性高低反映脂质过氧化强度和机体清除氧自由基的能力。MDA 含量升高，SOD 活性降低，即可引发氧化应激反应，导致细胞损伤甚至细胞死亡。菜籽油对蛋鸡机体抗氧化的研究鲜有报道，大鼠上的研究发现，将菜籽油溶于 0.5%的羧甲基纤维素钠溶液，按 12.23 mL/kg BW 灌胃给药雄性 SD 大鼠，肝脏 SOD 活性显著升高[38]。邓乾春等[39]研究报道，高脂饲粮导致大鼠血清中 SOD 和谷胱甘肽还原酶活性显著下降，饲喂菜籽油可提高血清中 SOD 和谷胱甘肽还原酶活性。张亮[40]研究表明，摄食高脂饲粮的 SD 大鼠血清及肝脏的 MDA 含量均显著高于基础对照组，水酶法菜籽油组肝脏的 MDA 含量显著低于其他菜籽油组。从大鼠上的研究来看，菜籽油能够影响机体抗氧化能力，因此，不同芥酸含量菜籽油对蛋鸡生产性能的影响可能与其影响机体抗氧化能力有关。

4.3 菜籽油对机体免疫功能的影响

油脂中的脂肪酸主要分为饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸，营养学研究

认为，脂肪酸在维持机体健康方面起着重要的作用[41-43]，饮食中长链脂肪酸的组成及含量与各种疾病(如肿瘤、冠心病、心脑血管病等)的发病率呈正相关[29,44]。多不饱和脂肪酸是细胞膜磷脂的重要组成成分，当机体受到外界抗原刺激时，淋巴因子、抗体的分泌及新的免疫细胞的产生都依赖于脂肪的参与。菜籽油中主要含有亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂肪酸。有学者研究发现，亚油酸可明显改善佐剂性关节炎大鼠的关节炎症状，减轻滑膜炎症，而且能够显著降低血清肿瘤坏死因子-α（TNF-α）和白细胞介素-1β（IL-1β）的含量[45]。夏兆刚等[46]研究发现，30 周龄海兰褐蛋鸡饲粮中 n-3/n-6 比值在 1:1~1:8 时，产蛋鸡具有较好的免疫功能。Friedman 等[47]研究发现，随着饲粮中亚油酸添加水平的提高，鸡合成抗体的能力呈先上升后降低的趋势。Xia 等[48]试验结果表明，产蛋鸡摄入含多不饱和脂肪酸的饲粮可以改变血清溶菌酶活性，鱼油组、亚麻籽油组能显著提高血清溶菌酶活性。过氧物酶体活性增殖体受体(PPARs)是细胞核激素受体与转录因子，不仅可调节脂肪代谢的基因表达，还可调节免疫与炎症反应。长链不饱和脂肪酸（UFA）与其代谢物结合能激活 PPARs[49]。因而，饲粮脂肪酸可能通过 PPARs 介导蛋鸡免疫反应。关于菜籽油对机体免疫功能的报道极少，可能由于其芥酸含量不同造成脂肪酸组成的差异，从而对机体免疫造成影响，具体机制有待进一步探究。

5 小 结

综上所述，菜籽油影响蛋鸡生产性能和蛋品质，主要的原因可能是菜籽油影响了蛋鸡的脂肪代谢、机体抗氧化能力和免疫功能，而这些过程与蛋鸡机体健康密切相关，蛋鸡肝脏合成的脂肪经血液运输到脂肪组织贮存及运输到卵巢用于产蛋，而肝脏合成脂肪主要来源于饲粮，因此，菜籽油能够通过改变饲粮脂肪酸组成和含量影响蛋鸡机体健康。而目前对于蛋品质的研究大部分集中在常规蛋品质和脂肪酸组成方面，饲粮中添加高芥酸含量的菜籽油对蛋黄中芥酸的沉积情况鲜有报道，高芥酸含量的菜籽油对脂肪代谢的影响目前在大鼠上的研究较多，但在蛋鸡上鲜有报道，尚需要进一步的探究。

参考文献：

[1] 姚英政,董玲,黎剑,等.冷榨与热榨工艺对双低菜籽油品质影响[J].粮食与油脂,2016,29(3):28–31.

[2] 雷红,蔡亮亮,操丽丽,等.菜籽油中芥酸含量对小鼠食用安全性的影响[J].食品科学,2010,31(19):321–324.

[3] 欧阳雁丽,王瑞淑.菜籽油芥酸含量对大鼠肾上腺、心脏和生长的影响[J].现代预防医学,1989(3):1–6.

[4] 张立实,王瑞淑.高芥酸菜籽油对小鼠生殖功能的影响[J].中国食品卫生杂志,1989(2):5–9.

[5] 张立实,谭菌,欧阳雁丽,等.高芥酸菜籽油对大鼠肝组织脂肪酸氧化功能的影响[J].营养学报,1991,13(2):108–113.

[6] MURPHY C C,MURPHY E J,GOLOVKO M Y.Erucic acid is differentially taken up and metabolized in rat liver and heart[J].Lipids,2008,43(5):391–400.

[7] 王永珍.老人不宜长期吃菜籽油[J].长寿,2014(9):51.

[8] YANG M,ZHENG C,ZHOU Q,et al.Minor components and oxidative stability of cold-pressed oil from rapeseed cultivars in China[J].Journal of Food Composition and Analysis,2013,29(1):1–9.

[9] SZYDŁOWSKACZERNIAK A,KARLOVITS G,HELLNER G,et al.Effect of enzymatic and hydrothermal treatments of rapeseeds on quality of the pressed rapeseed oils.Part Ⅰ:antioxidant capacity and antioxidant content[J].Process Biochemistry,2010,45(1):7–17.

[10] TERÉS S,BARCELÓ-COBLIJN G,BENET M,et al.Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2008,105(37):13811–13816.

[11] OH Y T,LEE J Y,LEE J,et al.Oleic acid reduces lipopolysaccharide-induced expressionof iNOS and COX-2 in BV2 murine microglial cells:possible involvement of reactive oxygen species,p38 MAPK,and IKK/NF-κB signaling pathways[J].Neuroscience Letters,2009,464(2):93–97.

[12] KURUSHIMA H,HAYASHI K,SHINGU T,et al.Opposite effects on cholesterol metabolism and their mechanisms induced by dietary oleic acid and palmitic acid in hamsters[J].Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism,1995,1258(3):251–256.

[13] SOARES,FREIRE H,KIYOMI M.O ácido graxo monoinsaturado do abacate no controle das dislipidemias[J].Campinas,2012,9(2):47–51.

[14] 周琦,杨湄,黄凤洪,等.不同工艺市售菜籽油品质及风味差异研究[C]//中国作物学会油料作物专业委员会第七次会员代表大会暨学术年会论文集.文昌:中国作物学会,2013.

[15] 常致成.芥酸及其衍生产品的开发应用[J].日用化学工业,2000,30(6):26–30.

[16] LOWER E.芥酸的特性及应用[J].伍伟青.译.日用化学工业译丛,1986(4):28–31.

[17] 邓定辉.高、低芥酸菜籽油的开发利用[J].中国乳业,1997(5):16–17.

[18] ROWGHANI E,ARAB M,NAZIFI S,et al.Effect of canola oil on cholesterol and fatty acid composition of egg-yolk of laying hens[J].International Journal of Poultry Science,2007,6(2):111–114.

[19] GUL M,YORUK M A,AKSU T,et al.The effect of different levels of canola oil on performance,egg shell quality and fatty acid composition of laying hens[J].International Journal of Poultry Science,2012,11(12):769–776.

[20] FAITARONE A B G,GARCIA E A,RO A R D O,et al.Cholesterol levels and nutritional composition of commercial layers eggs fed diets with different vegetable oils[J].Revista Brasileira De Ciência Avícola,2013,15(1):31–37.

[21] 卢建,王克华,曲亮,等.不同水平花生油对苏禽青壳蛋鸡产蛋性能、蛋品质和血清脂质指标的影响[C]//第十六次全国家禽学术讨论会论文集.扬州:中国畜牧兽医学会,2013.

[22] VOGTMANN H,CLANDININ D R,HARDIN R T.The influence of high and low erucic acid rapeseed oils on the productive performance of laying hens and on the lipid fract

ion of egg yolk[J].Canadian Journal of Animal Science,1974,54(3):403–410.
[23] ROLL A A P,HOBUSS C B,DEL PINO F A B,et al.Canola oil and organic selenium in quail diets:fatty acid profile,cholesterol content and external egg quality[J].Semina:Ciências Agrárias,Londrina,2016,37(1):405–414.
[24] HORNIAKOVA E.Effect of different content of fat source on production and indices of egg quality[J].Journal of Poultry Science,1997,42(3):362–367.
[25] SCHNEIDER W J.Vitellogenin receptors:oocyte-specific members of the low-density lipoprotein receptor supergene family[J].International Review of Cytology,1996,166:103–137.
[26] BURLEY R W,EVANS A J,PEARSON J A.Molecular aspects of the synthesis and deposition of hens egg yolk with special reference to low density lipoprotein[J].Poultry Science,1993,72(5):850–855.
[27] GROBAS S,MÉNDEZ J,LÁZARO R,et al.Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens[J].Poultry Science,2001,80(8):1171–1179.
[28] GOLDBERG E M,GAKHAR N,RYLAND D,et al.Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed hempseed and hempseed oil[J].Journal of Food Science,2012,77(4):S153–S160.
[29] GERBER M,THIÉBAUT A,ASTORG P,et al.Dietary fat,fatty acid composition and risk of cancer[J].European Journal of Lipid Science and Technology,2010,107(7/8):540–559.
[30] HALLIDAY A.Milk products and eggs 4th supplement to mccance and widdowson's the composition of foods[J].Nutrition Bulletin,2010,15(2):133–134.
[31] NOWACZEWSKI S,KONTECKA H,ELMINOWSKA-WENDA G,et al.Eggs quality traits in Japanese quail divergently selected for yolk cholesterol level[J].Archiv Fur Geflugelkunde,2010,74(2):141–144.
[32] CEYLAN N,CIFTÇI I,MIZRAK C,et al.Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens[J].Journal of Animal and Feed Sciences,2011,20(1):71–83.
[33] SMINK W,GERRITS W J J,HOVENIER R,et al.Effect of dietary fat sources on fatty acid deposition and lipid metabolism in broiler chickens[J].Poultry Science,2010,89(11):2432–2440.
[34] KAVOURIDOU K,BARROETA A C,VILLAVERDE C,et al.Fatty acid,protein and energy gain of broilers fed different dietary vegetable oils[J].Spanish Journal of Agricultural Research,2008,6(2):210–218.
[35] CARROLL K K.Studies on the mechanisms by which erucic acid affects cholesterol metabolism.Distribution of erucic acid in adrenal and plasma lipids[J].Biochemistry & Cell Biology,1962,40(8):1115–1122.
[36] NIMPF J,SCHNEIDER W J.Receptor-mediated lipoprotein transport in laying hens[J].The Journal of Nutrition,1991,121(9):1471–1474.
[37] 王瑜铭.不同能量来源对产蛋鸡脂质代谢和产蛋性能的影响[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.
[38] 吴晨,王丽梅,肖娜,等.3 种食用油对大鼠脏器、生化指标及脂质过氧化的影响[J].中国酿造,2012,31(7):96–99.
[39] 邓乾春,禹晓,许继取,等.不同芥酸含量菜籽油对高脂模型大鼠血脂和抗氧化能力的影响[J].中国食品学报,2014,14(10):23–28.

[40] 张亮.不同加工工艺的菜籽油品质及其生物学评价[D].博士学位论文.无锡:江南大学,2016.
[41] CROWE F L,ALLEN N E,APPLEBY P N,et al.Fatty acid composition of plasma phospholipids and risk of prostate cancer in a case-control analysis nested within the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition[J].American Journal of Clinical Nutrition,2008,88(5):1353–1363.
[42] 李丽,吴雪辉,陈春兰.调和油的配比对人类健康的影响[J].中国油脂,2008,33(12):7–12.
[43] 曾亚丽.食用油的营养分析与合理选用[J].农产品加工（创新版）,2010(7):68–70.
[44] JUDÉ S,ROGER S,MARTEL E,et al.Dietary long-chain omega-3 fatty acids of marine origin:a comparison of their protective effects on coronary heart disease and breast cancers[J].Progress in Biophysics and Molecular Biology,2006,90(1/2/3):299–325.
[45] 党娟.亚油酸及其甲酯对佐剂性关节炎大鼠的治疗作用[D].硕士学位论文.成都:西南交通大学,2011.
[46] 夏兆刚,呙于明,陈士勇,等.不同种类多不饱和脂肪酸对产蛋鸡抗体产生和淋巴细胞增殖的影响[J].动物营养学报,2004,16(2):29–35.
[47] FRIEDMAN A,SKLAN D.Effect of dietary fatty acids on antibody production and fatty acid composition of lymphoid organs in broiler chicks[J].Poultry Science,1995,74(9):1463–1469.
[48] XIA Z G,GUO Y M,CHEN S Y,et al.Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on antibody production and lymphocyte proliferation of laying hens[J].Asian AustralasianJournal of Animal Sciences,2003,16(9):1320–1325.
[49] POMPÉIA C,LOPES L R,MIYASAKA C K,et al.Effect of fatty acids on leukocyte function[J].Brazilian Journal of Medical and Biological Research,2000,33(11):1255–1268.

Effects of Rapeseed Oil on Performance, Egg Quality of Laying Hens and Its Mechanism Exploration

YUAN Ning WANG Jianping DING Xuemei BAI Shiping ZHANG Keying*

(*Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of China Ministry of Education, Chengdu* 611130, *China*)

Abstract: Rapeseed oil is a major domestic vegetable oil in China, the content of erucic acid is an important factor affecting its food value and nutritional value. The laying hens have intensive lipid metabolism in the egg-laying stage, and the types and levels of oils affect the fat metabolism of laying hens. As one of the main components of egg yolk, dietary fat quality and quantity is closely related to the egg quality. This article briefly reviewed the classification of rapeseed, rapeseed oil and the fatty acid composition of rapeseed oil. The effect of rapeseed oil on the performance and

egg quality of laying hens was mainly analyzed. The effect of rapeseed oil on fat metabolism, anti-oxidation and immunity was analyzed for exploring its mechanism. The objective is to provide a theoretical basis for the application of rapeseed oil in laying hens.

Key words: rapeseed oil; egg quality; erucic acid; performance; lipid metabolism

*Corresponding author, professor, E-mail: zkeying@sicau.edu.cn (责任编辑　武海龙)